



GLOBE koristi najsuvremenija dostignuća svemirskog programa

Preveo i pripremio Zoran Ikica, dipl.ing i doc. dr. sci Vladimir Kušan

DALJINSKO ISTRAŽIVANJE

Sve je počelo 1957. godine lansiranjem SPUTNJIKA I, prvog Zemljinog umjetnog satelita. Rani sateliti su bili opremljeni instrumentima (senzorima) za mjerenja svemira u blizini Zemlje. Nastajanjem i primjenom sofisticiranijih instrumenata preko satelita počinju promatranja vanjskog svemira, a 1972. godine lansiranjem satelita koji je nazvan LANDSAT I ponovo se vraćamo promatranju Zemlje i od tada satelitske kamere i senzori sustavno snimaju i kartiraju (mapping) Zemlju tj. njenu atmosferu (zrak), hidrosferu (voda), kriosferu (led) i biosferu (žive organizme) pomoću tehnologije poznate pod imenom REMOTE SENSING - Daljinsko istraživanje. Dakle, proces snimanja i interpretiranja snimaka iz zraka ili svemira naziva se REMOTE SENSING.

Prve "zračne" fotografije pojavile su se sredinom 19. stoljeća (snimak Bostona iz balona sa toplim zrakom sa visine od cca 400 m, načinjen 1860.), što odmah nalazi vojnu primjenu - snimka položaja južnjačkih trupa oko Richmonda u Virginiji koju su načinili pripadnici sjevernjačke vojske o građanskom ratu u Sjedinjenim Američkim Državama. Naročito zanimljive su snimke iz zraka, načinjene u San Francisku nakon zemljotresa i to pomoću niza od 17 papirnatih zmajeva koji su bili pričvršćeni za čamce usidrene u zaljevu San Franciska. Prije 1960 godine foto kamera je bila najšire upotrebljavani sustav daljinskog promatranja iako su infracrveni i radarski sustavi razvijani i upotrebljavani za vrijeme drugog svjetskog rata. Svemirsko promatranje počinje lansiranjem satelita TIROS I (Television Infrared Observation Satellite). TIROS - serija satelita je prethodnik današnjih NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) vremenskih satelita koji kruže u polarnim orbitama. Prvi satelit za promatranje Zemlje bio je ERTS (Earth Resource Technology Satellite) kojeg je lansirala NASA 1972. godine. Ovaj je satelit kasnije nazvan LANDSAT I i bio je prvi iz serije LANDSAT satelita projektiranih za iscrtaavanje izgleda Zemljine površine. Znanstveno tehničke i tehnološke inovacije te praćenje i analiza satelitskih snimaka u posljednjih trideset godina iz temelja su promijenile naše gledanje na Planet. Godinama je ta tehnologija bila vezana uz vojsku i nacionalnu sigurnost te uz razvojne programe u visoko znanstvenim ili komercijalnim institucijama SAD. Međutim, širenje satelitske tehnologije i na druge zemlje, te nagli razvoj kompjuterske tehnologije omogućili su čak, u cijelom svijetu poslovično siromašnim školama, korištenje ove tehnologije.

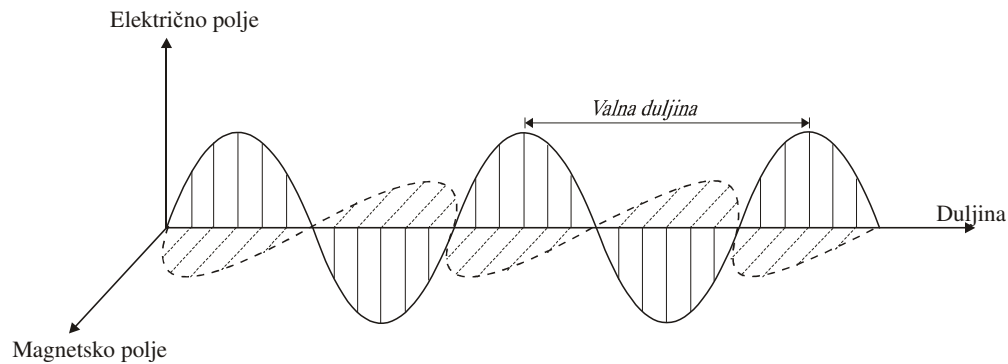
Sve češće ćemo se susretati sa slikama dobivenim pomoću raznih tehnika daljinskog promatranja (Remote Sensing). Neke od njih izgledaju kao prave fotografije dok druge nalikuju apstraktnim slikarijama. Jedna od najpoznatijih snimaka Zemlje načinjenih iz svemira je tzv. "Plavi mramor" ("Blue marbel") snimljena iz svemirskog broda APOLLO 17 na putu za Mjesec u prosincu 1972.godine. Međutim, većina slika dobivena pomoću daljinskog istraživanja nisu fotografije nego digitalne slike načinjene kompjuterom.

KARTIRANJE (MAPPING) ZEMLJINE POVRŠINE

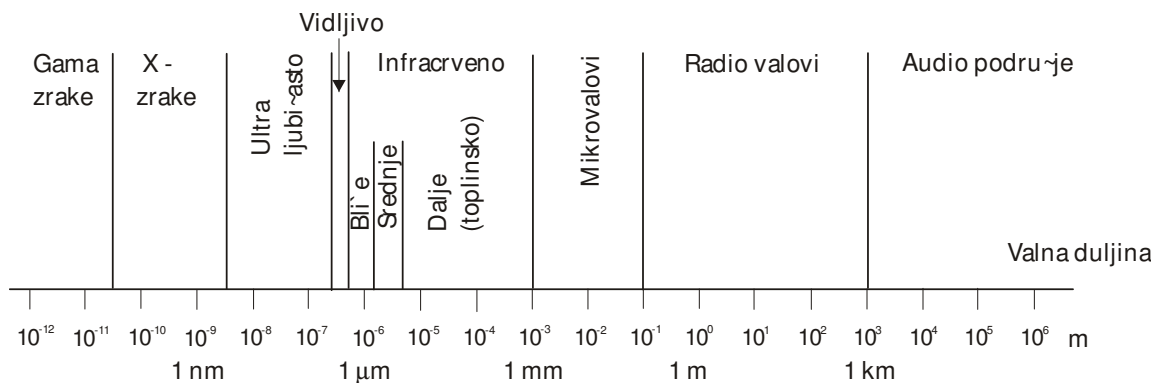
Postoji širok raspon tehnika daljinskog istraživanja za kartiranje Zemljine površine. Praktično sve ove tehnike koriste senzore koji bilježe zračenje koje od Zemlje ide u svemir, ali se razlikuju po tipovima koje detektiraju. Ovdje treba napomenuti da se u ovom slučaju pod zračenjem ne podrazumijeva radioaktivnost nego različiti oblici valova koji se reflektiraju ili ih emitira neki objekt. Ljudsko nam oko daje oko 90% informacija koje primamo o našem okolišu. U tom smislu oko je daljinski osjetnik (senzor); ono prima i interpretira vidljivo zračenje (svjetlo) od udaljenih objekata. Vidljivo zračenje je samo mali dio vrlo velike obitelji



valova koji se nazivaju ELEKTROMAGNETSKI valovi (slika 1b). Radijacija predstavlja kontinuirani spektar u kojem različita svojstva valova ovise o njihovoj valnoj dužini (slika 1a, tablica 1). Valne dužine se obično mjere u mikrometrima (1 mikrometar = 10^{-6} m) ili u nanometrima (1 nanometar = 10^{-9} m). Vidljiva svjetlost je približno na sredini prikazanog raspona i kod nje je ljubičasta najmanje, a crvena svjetlost najveće valne dužine. Mjereno u nanometrima valne dužine vidljivog svijetla su u rasponu od 400 za ljubičasto do 700 nanometara za crveno svijetlo. Na obje strane pojasa vidljivog zračenja su drugi valovi značajni za daljinsko istraživanje. Kraćih valnih dužina su ultra ljubičaste zrake, a većih dužina su infra crvene zrake (sa svojim komponentama) i mikrovalovi (radar).



Slika 1a. Elektromagnetski val s električnim i magnetskim poljem



Slika 1b. Spektar elektromagnetskih valova



Spektralno područje	Valna duljina	Obilježja
Gama zrake	< 0,03 nm	Cjelokupno zračenje se zadržava u gornjim dijelovima atmosfere i nije primjenjivo za daljinska istraživanja.
X - zrake	0,03 do 3,0 nm	Cjelokupno zračenje se zadržava u gornjim dijelovima atmosfere i nije primjenjivo za daljinska istraživanja.
Ultraljubičasto (UV)	0,03 do 0,4 μm	Sve valne duljine manje od 0,3 μm ozon zadržava u gornjim dijelovima atmosfere.
Fotografsko UV	0,3 do 0,4 μm	Prolazi kroz atmosferu. Može se zabilježiti fotografski, ali je refleksija ovoga zračenja u atmosferi vrlo velika.
Vidljivo	0,4 do 0,7 μm	Sve valne duljine moguće je zabilježiti fotografski.
Infracrveno (IC)	0,7 do 100 μm	Međudjelovanje s tvarima u atmosferi ovisi o valnoj duljini. U IC području izmjenjuju se područja propuštena kroz atmosferu s onima zadržanim.
Bliže (fotografsko) IC	0,7 do 1,1 μm	Atmosfera propušta ove valne duljine gotovo u cijelosti. Može se zabilježiti fotografski.
Srednje IC	1,5 do 3,0 μm	IC zračenje koje ne sadrži informacije o toplinskim svojstvima objekata.
Dalje (toplinsko) IC	3,0 do 5,0 μm 8,0 do 14,0 μm	Atmosfera propušta samo dva navedena raspona. Može se zabilježiti samo pomoću optičko-mehaničkih skenera i posebnih vidicon uređaja
Mikrovalno	0,1 do 30 cm	Veće valne duljine mogu prolaziti kroz oblake, maglu i kišu. Snimke se mogu ostvariti pomoću aktivnih i pasivnih uređaja.
Radarsko	0,1 do 30 cm	Aktivni uređaj za snimanje. Snimanje se obavlja u tri spektralna područja (kanala).
Radio	> 30 cm	Najveće područje elektromagnetskoga spektra. Neki uređaji bilježe vrlo velike valne duljine, a nazivaju se radari.

Tablica 1. Dijelovi elektromagnetskoga spektra i njihova obilježja.

SATELITSKE SLIKE

Vizualna informacija može biti predstavljena na dva načina. Ako pogledamo kolor fotografiju pomoću povećala vidjet ćemo da je sastavljena od mnogo boja koje kontinuirano prelaze jedna u drugu, odnosno stapaju se. Ovakva informacija naziva se analognom što znači da su odgovarajući podaci predstavljeni kontinuiranim promjenama neke veličine. U stvarnosti, kako smo već rekli neki podaci dobiveni tehnikom daljinskog istraživanja su fotografski, ali veći njihov dio čine digitalne slike.



Digitalna slika koju stvara kompjutor sastavljena je od elemenata koji se nazivaju pikseli (pixel), a oni su složeni vertikalno i horizontalno na kompjuterskom ekranu. Svaki piksel na slici odgovara određenoj lokaciji na Zemlji koja je stvarna površina konačnih dimenzija. Piksel predstavlja najmanju površinu koju određeni senzor može opažati. Ovo nas dovodi do jednog od osnovnih aspekata daljinskog opažanja, a to je PROSTORNO RAZDVAJANJE (rezolucija). Postavimo li mrežu načinjenu od jednakih elemenata preko Zemljine površine, satelitski će senzor izmjeriti energiju reflektiranu od površine, koja odgovara svakom elementu mreže. U stvari, bit će sakupljene informacije o reflektiranju energije sa svih površina koje odgovaraju pojedinim elementima. Veličina svakog elementa mreže (piksela) određuje veličinu najmanjeg dijela promatrane zemljine površine koji može biti određen (detektiran). Sateliti koji mjere stanja i procese u atmosferi i oceanima imaju uglavnom velike piksele - tipično 1000 m (1 km) ili veće, jer se u tim područjima pojave na manjim udaljenostima ne mijenjaju značajnije. Jedna od slika koju ćete dobiti u prilogu, pripremljena je od podataka dobivenih od instrumenata AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), koji se nalaze na NOAA satelitima. Rezolucija ove slike je 1.1 km (1100 m).

Niska (gruba) rezolucija znači sliku koja je sastavljena od većih piksela, dok fina (visoka) rezolucija odgovara slici sastavljenoj od malih piksela. Proučavanje kopna na Zemlji, za razliku od atmosfere i oceana, zahtijeva mnogo veću prostornu rezoluciju (manje piksele) jer područja našeg zanimanja (ceste, građevine, rijeke, polja itd.) ne mogu biti jasno predstavljeni velikim pikselima.

Senzori koji se nalaze na satelitima LANDSAT uočavaju oblike veličine 30 m, dok senzori na francuskom SPOT-u (Systeme Probatorie d'Observation de la Terre) rješavaju oblike veličine 10 - 20 m. Slika 3 prikazuje nekoliko satelitskih pogleda istog područja (Pease Development Center Portsmouth u New Hampshire-u) u nekoliko različitih prostornih rezolucija kako bi se pokazao učinak veličine piksela na kvalitetu slike. Slika 3-1 je dobijena pomoću senzora AVHRR koji ima rezoluciju od 1100 m. Ovo je slika površine 15km x 15km. Da je prikazana manja površina na slici se ne bi vidjeli nikakvi detalji zbog malog broja piksela. Svijetli pikseli u sredini povećanog dijela slike predstavljaju parkiralište zračne luke. Slika 3-2 predstavlja isto područje "uhvaćeno" pomoću multispektralnog skenera (Multispectral Scanner), sa 80 metarskim pikselom, koji se nalazi na LANDSAT satelitu. Na ovoj se slici, osim područja parkirališta, može razabrati malo drugih detalja. Slika 3-3 potječe od LANDSAT-ova Thematic Mapper-a čiji je piksel 30 m i na njoj se već razabiru ceste i drugi detalji. Slika 3-4 je u 20 metarskoj rezoluciji Multispektralnog skenera na francuskom SPOT satelitu. Ovdje su vidljive i druge pojedinosti. Slika 3-5 je u 10 metarskoj rezoluciji (crno-bijela) načinjena pomoću Panachromatic imager-a na SPOT satelitu. Iz ovih primjera vidimo da se smanjenjem veličine piksela, povećava količina informacija za istu površinu. Pri proučavanju velikih područja upotreba podataka vrlo visoke rezolucije može biti neprikladna zbog prevelikih zahtjeva za kompjuterskom memorijom. Dakle, o svrsi istraživanja (promatranja) ovisit će koji senzori, odnosno koja rezolucija će biti upotrebljena.

Drugi važan aspekt satelitskog daljinskog istraživanja je FREKVENCIJA PREKRIVANJA (Frequency of coverage) tj. čestoća kojom satelit prolazi iznad određene lokacije na Zemljinoj površini. Frekvencija prekrivanja je ovisna o orbiti na kojoj je satelit smješten. Općenito, što je orbita "viša" duže je vrijeme koje je potrebno da satelit obiđe Zemljinu kuglu.



Vremenski, sateliti zahtijevaju učestalo prekrivanje i to zbog toga što se u motrenju vremenskih sustava opažaju promjene koje se dešavaju u kratkom vremenu (sati i minute). Da bi se ovo postiglo sateliti se postavljaju u tzv. GEOSTACIONARNE orbite. U takvoj orbiti satelitu koji putuje od zapada na istok na visini od 36500 km, potrebno je 24 sata da obiđe Zemlju. Tako izgleda da stoji u odnosu na istu poziciju na Zemlji mada se giba velikom brzinom.



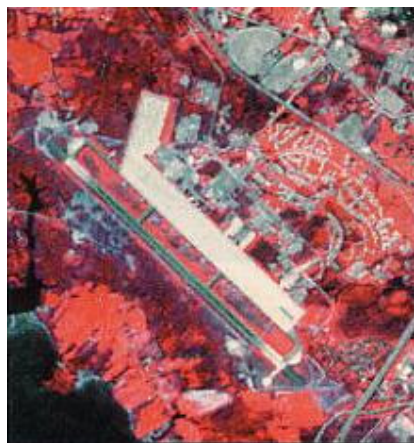
Landsat Multispectral Scanner – 80m pixel

Slika 3.2



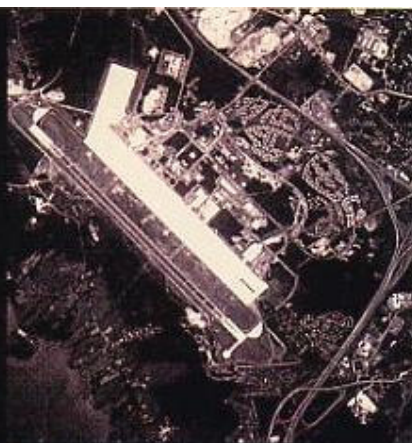
Landsat Thematic Mapper – 30m pixel

Slika 3.3



SPOT Multispectral Scanner – 20m pixel

Slika 3.4

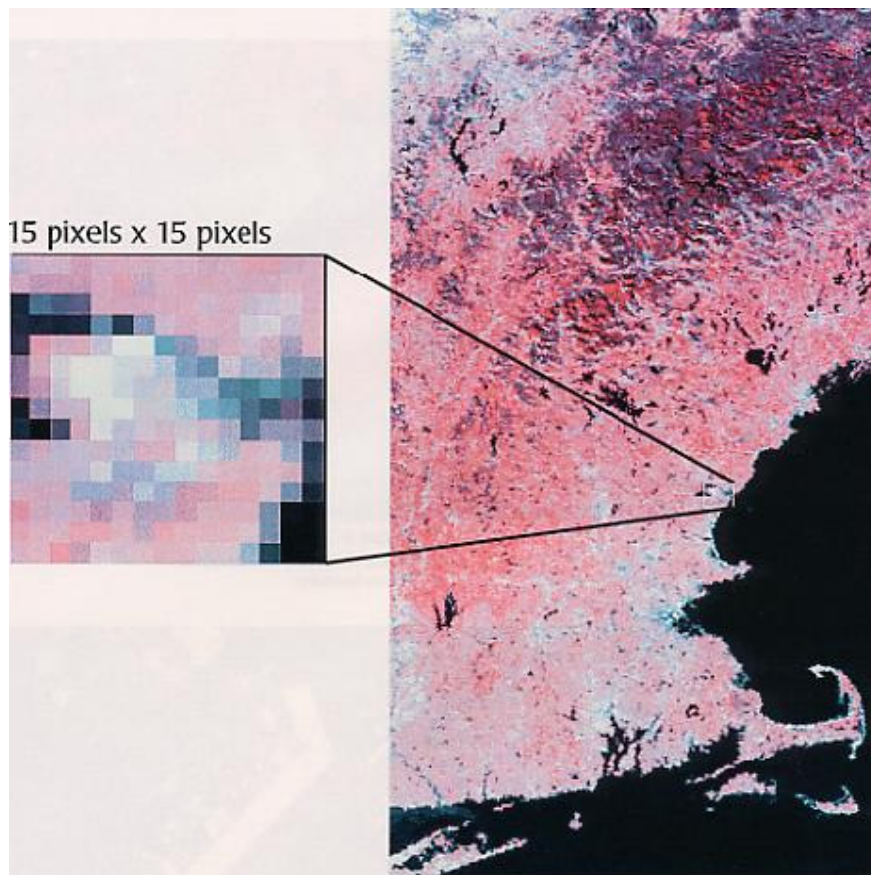


SPOT Panchromatic Band – 10m pixel

Slika 3.5

Slike 3.2, 3.3, 3.4 i 3.5

Seriya satelita GOES (Geostationary Operational Environmental Satelites) američke agencije NOAA i METEOSAT Europske svemirske agencije, predstavljaju niz geostacionarnih satelita postavljenih u orbite iznad ekvatora. S ovih visina njihovi senzori su u mogućnosti, skoro potpuno obuhvatiti hemisferu. Od njih dobijamo točne slike oblačnosti svakih pola sata - to su one slike koje vidimo na TV vremenskim prognozama.



Slika 3.1

LANDSAT, SPOT i neki NOAA sateliti su u polarnim orbitama koje su na visinama od 800 - 900 km. Oni kruže oko Zemlje od pola do pola, u orbitama koje su sinhronne sa suncem, pa jedan satelit prelazi preko svake geografske širine u istom lokalnom vremenu. Sunčevi kutovi, sjene i drugi slični efekti ostaju isti ili se mijenjaju vrlo malo na predvidiv način. Kako satelit prolazi iznad područja promatranja, podaci se prikupljaju po liniji promatranja (scan line) ispod satelita. Svaka linija pretraživanja (scan line) podijeljena je na elemente rezolucije (piksele) koji imaju konačnu površinu, određenu sensorovom prostornom rezolucijom. LANDSAT sateliti, na pr., pretražuju u zamahu od 185 km, s prostornom rezolucijom od 30 m, pa stoga imamo preko 6000 elemenata rezolucije po liniji LANDSAT-ovih podataka.

Kad se na kompjutorskom ekranu prikažu linije podataka jedna uz drugu, kao rezultat dobijemo satelitsku sliku. Ova slika može sličiti fotografiji ali je ona, u stvari, prikaz podataka pomoću elemenata slike, koji odgovaraju elementima rezolucije senzora. Slika predstavlja mozaik u kojem svaka pločica (element) prikazuje samo jednu boju ili sjenu.

SPEKTAR PODATAKA

Elektromagnetsko zračenje koje prođe kroz atmosferu dolazi do površine Zemlje i objekata na njoj. To zračenje se naziva dospjelo ili upadajuće zračenje. U doticaju s površinom



objekata ono se mijenja po: intenzitetu, smjeru, valnoj duljini, polarizaciji i fazi. Promjene koje nastaju karakteristične su za pojedine objekte jer ovise o njihovim fizikalnim i kemijskim svojstvima, a kod živih organizama, napose biljaka, i o njihovoj anatomskoj strukturi i/ili fiziološkom stanju. Svaki objekt može pristiglo zračenje odbiti (reflektirati), propustiti (transmitirati) ili apsorbirati tj. upiti. Poseban slučaj djelovanja objekta na zračenje je raspršenje (difuzna refleksija). Osim toga svaki objekt može isijavati (emitirati) svoju energiju. Tako nastale promjene se opažaju i bilježe metodama znanstvene discipline nazvane daljinska istraživanja. Znanstvenici tada proučavaju i objašnjavaju (interpretiraju) dobivene snimke kako bi prepoznali objekte i stvari te objasnili njihove značajke koje su uzrokovale te promjene. Jačina i količina zračenja koje uređaj za snimanje opaža i bilježi ovisne su o:

- svojstvima objekta da odbije i isijava elektromagnetsko zračenje,
- svojstvu objekta da propušta elektromagnetsko zračenja,
- svojstvu objekta da upija elektromagnetsko zračenje,
- značajkama površine objekta,
- masi objekta,
- uspravnom položaju objekta,
- vodoravnom položaju objekta,
- položaju Sunca u trenutku snimanja (azimut i visina),
- položaju uređaja za snimanje (azimut i visina),
- atmosferskim utjecajima,
- značajkama uređaja za snimanje i
- načinu bilježenja i obrade prikupljenih podataka.

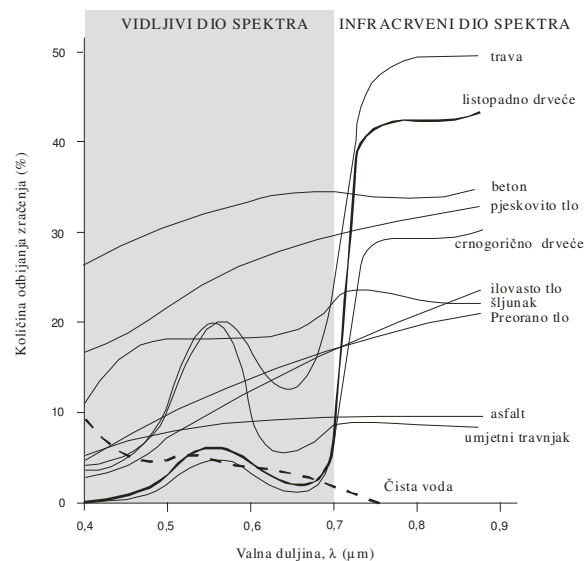
Utjecaj svake navedene osobine na količinu i jačinu zračenja drugačiji je za različite valne duljine.

Svi satelitski podaci nastaju kao zapisi elektromagnetskog zračenja kojeg detektiraju senzori na satelitu. Različiti senzori detektiraju elektromagnetska zračenja pojedinih spektralnih područja. Na pr. senzori na LANDSAT i SPOT satelitima detektiraju sunčevo zračenje koje se reflektira natrag u svemir od oblaka, oceana i tla sa Zemljine površine. LANDSAT ima također senzor za detekciju infracrvenog zračenja koje emitira Zemlja i njena atmosfera. Ovi senzori se nazivaju PASIVNI senzori jer samo primaju zračenje. Neki oceanografski sateliti aktivno šalju mikrovalne (radar) signale koje, kad se reflektiraju od oceanskih valova primaju natrag pomoću svojih senzora. To su dakle AKTIVNI senzori koji i emitiraju i primaju zračenja.

Svako spektralno područje nosi jedinstveni set informacija o Zemljinom okolišu (slika 2). Na primjer, ozon apsorbira ultraljubičasto zračenje pa se određivanje ozona u atmosferi vrši mjerenjem ultraljubičastog zračenja. Pomoću mikrovalova promatraju se ledene polarne kape, preko čijeg otapanja se može pratiti globalno zatopljenje. Vidljivi i infracrveni podaci upotrebljavaju se za procjenu stanja (zdravlja) usjeva, šuma i drugih oblika vegetacijskog pokrivača Zemlje. Toplinsko infracrveno zračenje (toplina) upotrebljava se za određivanje temperature oblaka, tla i oceanskih površina. Premda postoje pankromatski (panchromatic) senzori koji objedinjuju svu vidljivu svjetlost u jedno mjerenje (kao crno-bijeli film), većina senzora vidljivog područja razdvaja dolazeće zračenje na različite boje, odnosno na spektralne pojase (bands). Oni također mogu bilježiti različite spektralne pojase ultraljubičastog, vidljivog i infracrvenog (NIR ili MIR) zračenja. Ovakvi podaci se nazivaju



MULTISPEKTRALNIM podacima. Za svaki element rezolucije ili piksel satelitske slike, postoji čak sedam različitih za buduće satelitske misije, koji imaju stotine spektralnih područja. Spektralna rezolucija slike odnosi se na spektralni pojas. Sada se testiraju hiperspektralni daljinski senzori koji imaju stotine spektralnih područja za primjenu u budućim satelitskim misijama. Spektralna rezolucija slike odnosi se na broj spektralni pojaseva postignutih za svaki piksel. Kako se odbijanje može mjeriti u uskim dijelovima spektra (kanalima) kao funkcija valne duljine, naziva se spektralno odbijanje i izražava se u postocima. Dijagram na kojem je prikazano spektralno odbijanje pojedinih prirodnih objekata kao funkcija valne duljine naziva se krivulja spektralnog odbijanja. Kako je krivulja spektralnog odbijanja svojstvena pojedinom objektu i razlikuje se od krivulja za druge objekte, ona može poslužiti kao značajka za razlikovanje i prepoznavanje objekata na snimkama dobivenim pomoću uređaja za snimanje. Neki objekti mogu imati sličan tijek krivulja u određenom dijelu spektra (slika 2 - prirodni i umjetni travnjak u vidljivom dijelu spektra 0,4 do 0,7 μm) da bi se u drugom dijelu spektra značajno razlikovali. Ta činjenica osigurava mogućnost izbora onoga dijela spektra u kojem će se objekti od interesa najbolje moći razlikovati.



Slika 2: Uopćeni dijagram spektralnog odbijanja za različite prirodne i umjetne objekte

SPEKTRALNE KARAKTERISTIKE

Da bi shvatili prirodu multispektralnih podataka, korisno je najprije razmotriti kako čovjek zapaža boje. Naše oči su visoko razvijeni daljinski senzori, koji mogu uočiti brojne boje (spektralne pojaseve) vidljive svjetlosti. Kada bijelo svjetlo (sastavljeno od svih boja) pada na neki objekt neke boje se reflektiraju, dok druge bivaju apsorbirane. Objekt koji se pojavljuje kao crven, na primjer, reflektira crveno svjetlo, a apsorbira sve ostale. Ocean se pojavljuje modar jer se većina svjetla koja pada na njega apsorbira, a samo se plavo svjetlo reflektira. Ako se sve pristigle zrake svjetla reflektiraju, objekt izgleda bijel, dok u slučaju potpune apsorpcije pristiglih zraka, objekt izgleda crn.

Međutim, senzori za daljinsko istraživanje nisu ograničeni samo na vidljivo područje. Sklonost objekta da reflektira ili apsorbira različite valne dužine sunčevog zračenja je predstavljena njegovom spektralnom karakteristikom. Sateliti LANDSAT i SPOT bilježe podatke u vidljivom i infracrvenom području spektra. SPOT-ov multispektralni senzor ima tri spektralna pojasa: dva u vidljivom području (zeleni i crveni) i jedan u infracrvenom (NIR)



području. LANDSAT-ov Thematic Mapper bilježi reflektirano sunčevo zračenje u šest pojasa i toplinsko infracrveno zračenje, koje emitira Zemlja, u sedmom pojasu. Od ovih šest pojaseva, tri su u vidljivom (plavo, zeleno i crveno), a ostali u infracrvenom pojasu (NIR i MID). Znanstvenici su naučili i znaju kako interpretirati tokove refleksije izvan vidljivog dijela spektra i u većini slučajeva ta “nevidljiva” informacija predstavlja snagu multispektralnog prikazivanja. Dio infracrvenog zračenja (NIR) je skoro potpuno apsorbiran u vodi, dok tlo i naročito vegetacija imaju visoku refleksiju u NIR području. Dakle, NIR pojasevi su korisni za razlikovanje tla i vode. Osim toga koriste se pri prostornom i sistematskom određivanju vegetacije te za utvrđivanje zdravlja određene biljne vrste. Srednji infracrveni pojasevi (MIR) su osjetljivi na sadržaj vlage pa se koriste u proučavanju vegetacije i lociranju oblaka, snijega i formacija leda. Pomoću toplinskih infracrvenih pojaseva mjeri se količina topline koju emitira neki objekt (temperatura nekog objekta se može mjeriti sa točnošću preciznijom od pola stupnja).

Vidljivi pojasevi nam zasebno ili zajedno s infracrvenima, govore i o drugim svojstvima kopna i voda (tablica 2). Klorofil u biljkama apsorbira plave i crvene pojaseve, dok zeleni pojas reflektira. Stoga se ovi pojasevi upotrebljavaju u određivanju biljnih vrsta i stanja zdravlja vegetacije. Određeni tipovi tala i formacija stijena povećavaju refleksiju crvenog dijela spektra. Voda povećava refleksiju plavog u odnosu na druge spektralne pojaseve. Ona značajno manje reflektira sve vidljive pojaseve i pojaseve blizu infracrvenog (NIR) u odnosu na kopno i oblake. Vidljivi pojasevi se obično upotrebljavaju za lociranje oblaka koji mogu biti satelitu nevidljivi u infracrvenim pojasevima (zbog iste temperature s temperaturom tla ili oceanske površine).

Oznaka kanala	Valna duljina (μm) - dio spektra	Osobine - primjena spektralnog kanala
1	0,45 - 0,52 plavozeleni	Djelomično prodire kroz vodu pa je pogodan za kartiranje obalnih voda; jednako tako pogodan za razlikovanje tla i vegetacije, bjelogoričnog i crnogoričnog drveća, prepoznavanje izgrađenih objekata.
2	0,52 - 0,60 zeleni	Područje najvećeg odbijanja zračenja od zelene vegetacije; pogodan za procjenu vitalnosti vegetacije i prepoznavanje izgrađenih objekata.
3	0,63 - 0,69 crveni	Dio spektra koji upija klorofil; pogodan za razlikovanje tipova vegetacije.
4	0,76 - 0,90 bliže IC (NIR)	Područje koje zdrava vegetacija najviše odbija; koristi se za razlikovanje tipova vegetacije, ustanovljavanje stanja i količine biomase, za kartiranje obalnih linija.
5	1,55 - 1,75 srednje IC	Dio spektra koji prolazi kroz tanke slojeve oblaka; pokazuje sadržaj vode u vegetaciji i tlu, daje dobar kontrast između različitih tipova vegetacije.
6	10,40 - 12,50 toplinski	Noćne snimke; pogodan je za procjenu stresa vegetacije, sadržaj vlage u tlu; toplinska kartiranja.
7	2,08 - 2,35 srednje IC	Dio spektra koji upijaju hidroksilni ioni u mineralima; koristi se za razlikovanje stijena i minerala; osjetljiv je na sadržaj vlage u vegetaciji.

Tablica 2: Osobine i primjena spektralnih kanala skenera tematskog kartografa

INTERPRETIRANJE MULTISPEKTRALNIH PODATAKA: TEMATSKE MAPE

Promatrana svojstva na satelitskoj slici imaju općenito, izrazite spektralne karakteristike, a multispektralni podaci mogu biti klasificirani za određivanje raznih



spektralnih klasa. Upotrebom kompjutera i programa (softvera) za analizu slika svi pikseli s istim spektralnim karakteristikama se svrstavaju u istu klasu. Ovaj proces sažima multispektralne podatke (višestruka mjerenja) za isti piksel na jednu vrijednost za svaki. Svi pikseli s jednakim spektralnim karakteristikama najčešće odgovaraju istom tipu zemljinog pokrova, oblaka ili voda. Suprotno ne vrijedi jer svi pikseli određenog pokrova tla, oblaka ili voda ne moraju pripadati istoj klasi. Općenito, može postojati više klasa koje su nerazlučive jedna od druge za potrebe znanstvene primjene. Prema tome postoji daljnja potreba za grupiranjem klasa (na pr. prema raznim tipovima pokrova tla).

Slika koja je proizvedena razvrstavanjem piksela i bojanjem rezultirajućih klasa po nekom kodu, naziva se tematska mapa (Thematic Map). U tematskoj mapi različite klase piksela su identificirane i grupirane zajedno. Na primjer svi pikseli koji su šuma mogu biti grupirani u jednu grupu i označeni "šuma", ili mogu biti grupirani u dvije grupe kao "crnogorica" i "bijelogorica", ili pak mogu biti grupirani kao "crni bor", "jela", "smreka" itd.

Ograničenje ovakvom razlučivanju su sami senzori daljinskog promatranja čije informacije mogu biti nejasne, odnosno neodređene. Na primjer asfaltno parkiralište i asfaltna krovna površina ili šljunčana plaža i pošljunčana staza, praktički su nerazlučive za senzor daljinskog promatranja. Ovo zahtjeva provjeru na terenu ("Ground Truthing"). Provjera i mjerenja na terenu omogućavaju povezivanje daljinski ispitivanih podataka sa stvarnim podacima našeg prirodnog okoliša. Znači, obilazi se neko područje kako bi se potvrdili zaključci temeljeni na daljinskom istraživanju. Tako provjereni podaci mogu se upotrijebiti u različitim lokalnim uvjetima za ocjenjivanje, interpretaciju i analizu podataka dobivenih daljinskim istraživanjem.

Ovakav će način provjere omogućiti učenicima usporedbu vlastitih mjerenja i opažanja lokalnog okoliša sa satelitskim slikama istih lokacija. Ova tehnika je samo je jedna od tehnika interpretiranja multispektralnih satelitskih podataka. Druge tehnike uključuju matematičke formule pomoću kojih se podaci dvaju ili više spektralnih pojaseva koriste za izvođenje novog pojasa. Na primjer, dva termalna infracrvena pojasa se upotrebljavaju da bi se izvela temperatura morske površine ili u drugom primjeru, odnos plavih i zelenih pojaseva indicira obilje morskih algi.

PRIKAZIVANJE PODATAKA: UMJETNIČKI PRIKAZ

Upamtimo da je satelitska digitalna slika sačinjena od elemenata koji se nazivaju "pikseli" i koji su složeni horizontalno i vertikalno na kompjutorskom ekranu. Kod satelitskih slika svaki horizontalni red može odgovarati liniji pretraživanja senzora, a svaki piksel elementu rezolucije. Svaki element rezolucije odgovara lokaciji na Zemlji i on ne predstavlja točku nego kvadrat konačne dimenzije. Pomoću softvera za analizu slike, a prema podacima dobivenim od satelita, svaki piksel je obojen ili osjenčan. Realnost konačne slike, te izbor boja upotrijebljenih za predstavljanje podataka ovisi o operatoru kompjutera. Tako je svaka slika, na neki način, umjetnički prikaz znanstvenih podataka. Kako smo već ranije kazali prostorna rezolucija SPOT-ove multispektralne slike je 20 metara, LANDSAT-ova TM-a je 30 metara, a NOAA AVHRR-a je 1100 metara.

Većina kompjutorskih ekrana je premalena da bi mogla prikazati punu "scenu" LANDSAT-a s preko 6000 piksela po liniji pa i SPOT - ovu "scenu" koja ima 3000 piksela po liniji. Da bi se prikazala puna slika (scena) podaci su dani na taj način da se prikazuje samo dio piksela. Na primjer to može biti svaki drugi, svaki treći, svaki četvrti ili čak svaki dvanaesti piksel. Kad je scena prikazana na ovaj način, moguće je "zumirati" (povećati) njen određeni dio. Zumiranje omogućuje prikazivanje manjeg dijela slike u većoj rezoluciji. Svaki je piksel na ekranu, piksel jedinstvene satelitske slike te je tako moguće ocijeniti prostornu rezoluciju podataka. Daljnje povećanje slike, povećava piksele tako da je svaki satelitski



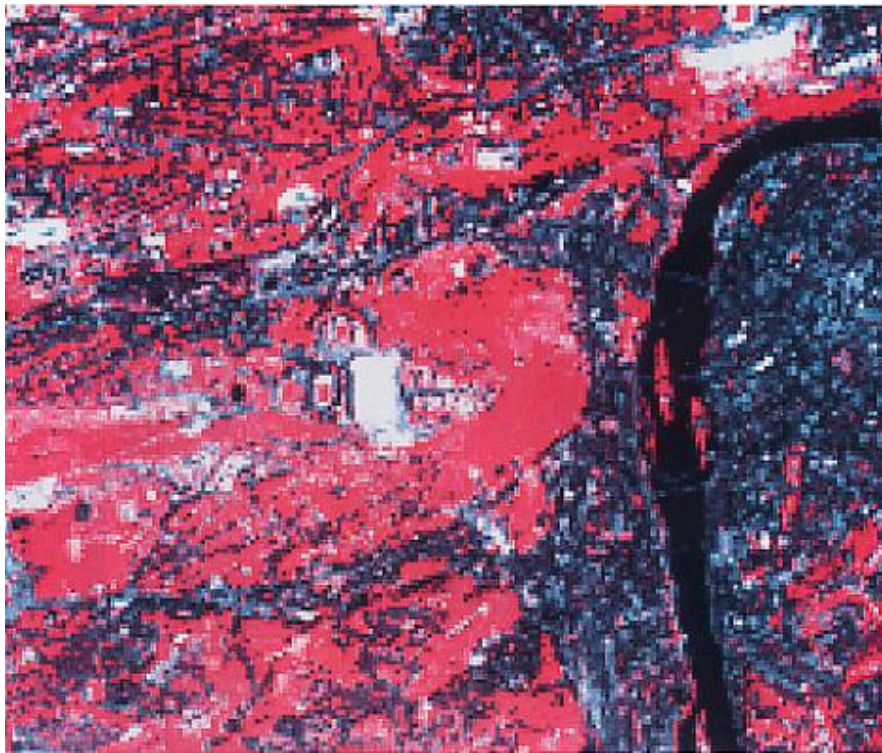
piksel prikazan kao kvadrat jedinstvene boje. Pošto je dostignuta prostorna rezolucija senzora, daljnjim zumiranjem nije moguće dobiti više detalja.



Slika 5

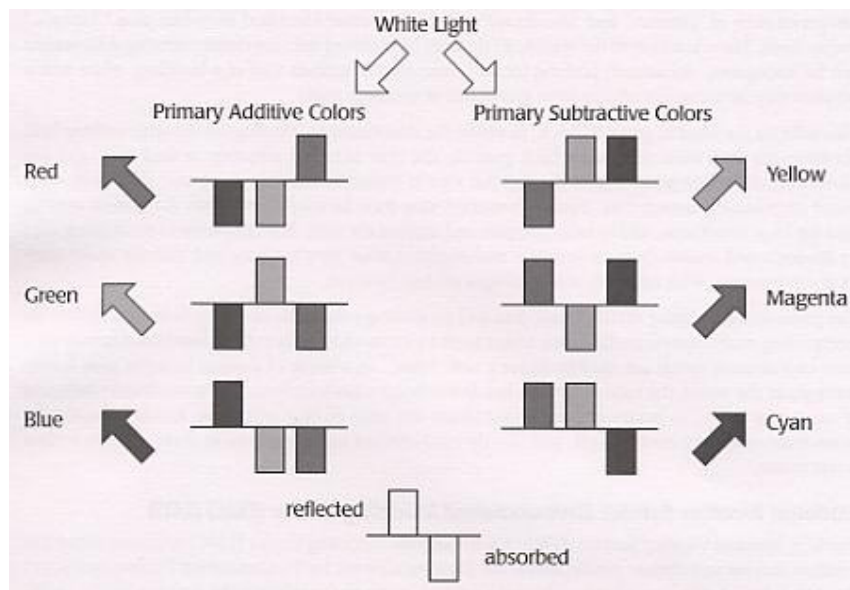
Da bi se slikovito prikazali podaci koje je sakupio satelitski senzor, kompjuterski operater odabire boje ili nijanse sivog koje će ih prikazivati. Svaki se spektralni pojas može prikazati odvojeno. Podaci u pojedinačnim pojasevima često su prikazani u nijansama sivog. Pri tom, svjetlija nijansa predstavlja objekte s većom refleksijom, a tamnije nijanse objekte s manjom (većom apsorpcijom). Slika 5 prikazuje područje kopna i vode promatrano samo u infracrvenom (NIR) pojasu. Na ovoj slici voda, kao jaki apsorber NIR zraka, pojavljuje se u tamnoj, skoro crnoj nijansi, dok neka od najsvjetlijih područja predstavljaju površine jake NIR refleksije.

Druga tehnika, tzv. sastavljanja boja (color composite), omogućava simultano prikazivanje tri spektralna pojasa. Prema ovoj tehnici, intenzitet svakog pojaseva predstavljen je jednom od primarnih boja (crvena, zelena ili plava), a kombinacije tih triju pojasa, odnosno osnovnih boja, daju sve ostale. Ukoliko crvena, zelena i plava boja kompjuterskog ekrana odgovara istim vidljivim pojasevima (crveni, zeleni i plavi) koje je izmjerio satelitski senzor, rezultat je onda "stvarno sastavljanje boja" (true color composite). Ovako dobivene slike izgledaju kao prave fotografije. Kad RGB (crveno, zelena i plavo) sastavljanje upotrebljava pojaseve koji su različiti od crvenog, zelenog i plavog vidljivog pojasa, kao rezultat dobivamo tzv. lažno sastavljanje boja (false color composite). Ovakva slika izgleda drukčije od onoga što smo navikli gledati. Slika 8 prikazuje opet jedno područje kopna i mora gdje je intenzitet NIR pojasa dan crvenom bojom. Tu su područja jake refleksije NIR-a predstavljena crveno i bijelo, a slabe refleksije (jake apsorpcije) tamno, odnosno crno.



Slika 8

Treća tehnika prikazivanja nazvana pseudo kolor slika nije sastavljena od tri pojasa nego od jednog ili slike gdje boja svakog piksela ovisi o numeričkoj vrijednosti pohranjenoj za taj pojas. Ta numerička vrijednost može predstavljati fizička svojstva kao na primjer temperaturu morske površine, koja je izvedena iz jednog ili više pojaseva. Sa slikom je pohranjena i posebna tablica boja koja “govori” kompjuteru koju boju treba izabrati za svaku moguću veličinu na slici. Slika 9 je prikaz ove tehnike.



Slika 9



GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAVI (GIS)

Prostorne informacije izvedene iz satelitske slike postaju dio geografskog informacijskog sustava (GIS). Kao takve, one postaju informacijske podloge na koje mogu pristupiti i druge podloge, kao na pr. topografske konture, geopolitičke granice itd., koje pripadaju istoj osnovnoj mapi.

GPS - GLOBALNI SUSTAV POZICIONIRANJA

Za valjanu interpretaciju podataka potrebno je, pored vremena kada su vršena mjerenja, znati njihovu točnu lokaciju. Pod tim podrazumijevamo geografsku širinu, dužinu i elevaciju odnosno visinu. Promjene koje se javljaju na digitalnim slikama Zemljine površine, snimljene satelitima za daljinsko promatranje, trebaju biti provjerene na samoj Zemljinoj površini (ground truth). Ove značajne informacije mogu dati škole koje se nalaze unutar prostora koji prikazuje takva slika, ali samo ako njihov položaj na zemlji odgovara položaju piksela na digitalnoj slici. To znači da prostor na kojem škola vrši mjerenja (a to je "piksel" veličine 30 m x 30 m, koji odgovara elementu prostorne rezolucije LANDSAT satelita) mora biti točno određen – precizno prostorno lociran. Za promatranja promjena okoliša u vremenu, važno je ponavljati mjerenja uvijek na istom mjestu. Danas je određivanje točnog položaja na Zemljinoj kugli vrlo jednostavno zahvaljujući globalnom sustavu za pozicioniranje (GPS). Američko ministarstvo obrane je u prošlom desetljeću uspostavilo sustav od 24 satelita poznat pod zajedničkim imenom GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) čija je svrha omogućiti točno određivanje pozicije i navigacije bilo gdje na Zemlji. Na visini od oko 20000 km oko Zemlje kruži 24 satelita s 12 satnim kružnim periodima. Sateliti su raspoređeni tako da se sa svakog mjesta na Zemlji u svakom trenutku mogu vidjeti barem četiri satelita, naravno pod uvjetom da nam obzor ne zaklanja neki objekt. Prijemnik na Zemlji "hvata" radio signale koje emitiraju GPS sateliti i određuje udaljenost do svakog satelita. Iz podataka udaljenosti do satelita prijemnik može vrlo točno odrediti svoju lokaciju (a to su, u stvari, geografska širina, dužina i elevacija). GPS je prvenstveno stvaran za vojne, a posljednjih godina dolazi do brojnih primjena u civilne svrhe pa je tako postao sastavnim dijelom i GLOBE programa. GPS prijemnici za civilne primjene imaju točnost od ± 100 m, što se računanjem srednje vrijednosti za više uzastopnih mjerenja može poboljšati na 10 do 15 metara. Danas je moguće (uz pomoć posebnih kompjutorskih obrada) postići točnost bolju od jednog centimetra!

GLOBE GPS MJERENJA

GPS mjerenja obavljamo na odabranim lokacijama za biološka mjerenja (30 m x 30 m - tzv. "piksel"), za mjerenja atmosfere / klime i pokrova te za hidrološka i geološka mjerenja. Prvo mjerenje obaviti ćemo na prostoru za atmosferska mjerenja jer se on, najčešće, nalazi u školskom dvorištu, a atmosferska mjerenja zahtijevaju otvoreni prostor, što je potrebno i za GPS mjerenja.

OPREMA

GLOBE škole upotrebljavaju (najčešće MAGELLAN TRAILBLAZER XL) ručni GPS prijemnik. Rukovanje ovim instrumentom je vrlo jednostavno. Korisnik treba samo uključiti prijemnik i pričekati da "uhvati" signale GPS satelita, a zatim zabilježiti koordinate (geografsku širinu, dužinu i elevaciju), te statusne informacije koje se pojavljuju na prvom ekranu. Koordinate su dane u WGS - 84 (World Geodetic System 1984), a vrijeme u UT (Universal Time). GPS prijemnik Magellan ima također mnogo drugih primjena kao što su navigacija, crtanje karata, prikaz položaja satelita itd. GPS prijemnik određuje svoju lokaciju mjerenjem daljine do GPS satelita pomoću radio signala koje ovaj emitira. Važno je zapamtiti



da ovi signali ne prolaze kroz zgrade, planine ili guste šume, pa je potrebno mjerenja vršiti na otvorenom prostoru. Za prvo mjerenje instrumentu će biti potrebno 15 - 20 min da bi utvrdio svoju lokaciju. Ovo se dešava zbog toga što instrument (prijemnik) mora najprije grubo utvrditi gdje se nalazi, a tek nakon toga može odrediti mnogo precizniju (100 m) lokaciju. Nakon ove prve inicijalizacije bit će potrebno samo nekoliko minuta, nakon svakog ponovnog uključivanja da dobijemo poziciju. Točnost određene pozicije je ± 100 m. Određivanjem srednje vrijednosti mjerenja koja vršimo kroz 15 minuta, točnost određene pozicije se poboljšava na 10 do 15 metara.

GPS MJERENJE

Prijemnik držimo u visini očiju, na mjestu čije koordinate želimo izmjeriti. Nakon uključivanja otvorit će se nekoliko ekrana dok se ne pojavi onaj s oznakom LOCATION 1. Ovdje će se pojaviti stare koordinate i riječ "SEARCHING" (traženje). To znači da prijemnik pokušava "uhvatiti" signale GPS satelita.

Upozorenje: Kad se na ekranu pojavi sličica (tzv. ikona) pješčanog sata, znači da su na ekranu stare koordinate, odnosno koordinate koje je prijemnik uspješno odredio kod posljednjeg pretraživanja. Prema tome NE UZIMAJ KOORDINATE DOK IKONA PJEŠČANOG SATA NE NESTANE S EKRANA ! Kad prijemnik "uhvati" najmanje četiri satelita tada može dati trodimenzionalni položaj (lokaciju), odnosno geografsku širinu, dužinu i elevaciju (visinu). Ako se na ekranu pojavi "2D" ikona znači da je određen dvodimenzionalni položaj i da elevacija ne može biti određena jer prijemnik ne prati četiri satelita. Ovo se često dešava u šumama. Upamtimo da je za uspješno izvršenje mjerenja nužno da ne ekranu NEMA ikone pješčanog sata!

Ako ne možete očitati koordinate jer instrument uslijed zapreka (lišće ili zgrade) ne hvata signale satelita, morate promijeniti položaj i obaviti «OFFSET» mjerenje. To možete najjednostavnije riješiti ukoliko se zapreka može otkloniti vašim pomicanjem ravno u smjeru sjevera ili juga. Pri tome je svakih 11 m približno 0.0001 stupanj, što ćete dodati ili oduzeti vašem očitavanju zemljopisne širine.

Korisni savjeti:

1. Potrebno je odrediti koordinate i elevaciju ulaza u školu, meteorološke kućice i svih mjernih mjesta – postaja
2. Koordinate mjernog mjesta određuju se samo jednom
3. Ako vaša škola ne posjeduje vlastiti GPS prijemnik, nego ćete ga posuditi, bit će dobro da tada odredite koordinate svih predviđenih mjernih mjesta. Ukoliko sve unaprijed dobro isplanirate i organizirate, bit će vam dovoljno posuditi GPS na vrijeme od jedan do dva tjedna.
4. Prije upotrebe, GPS treba podesiti za očitavanje vrijednosti u sljedećim jedinicama:
 - **Vrijeme – kao UT**
 - Elevacija - u metrima (m)
 - **Geografska širina i dužina - u decimalnim stupnjevima** (minute su izražene kao stotinke, a sekunde kao desetisućinke stupnja – npr.: **45.6581 N i 15.3252 E**)



BILJEŽENJE OČITAVANJA

Kad utvrdite da prijemnik prati dovoljno satelita (na pr. na ekranu piše "5 SATS") možete početi bilježiti očitavanja, prikazana na ekranu "LOCATION 1", u formular za GPS podatke. Zabilježite sve što je na ekranu. Od vrha prema dnu ekrana su širina i dužina (u stupnjevima, a dijelovi stupnja izraženi u decimalnom sustavu), elevacija (u metrima), vrijeme (univerzalno vrijeme UT odnosno GMT - vrijeme po Greenwich-u), broj satelita koji se prate kao i ostale poruke koje su dane raznim ikonama. Izvršite 5 mjerenja, s tim da je razmak između mjerenja najmanje jedna minuta. Mjerenje nećete zabilježiti ukoliko je na ekranu ikona pješćanog sata, nego ćete pričekati dok ona ne nestane pa tek onda nastaviti.

Pri unosu podataka na GLOBE web stranicama, upisat ćete rezultate svih svojih mjerenja, a potom aktivirati opciju: AVERAGE YOUR COORDINATES, koja omogućuje izračunavanje i izravan unos srednje vrijednosti vaših mjerenja.

IZRADA SKICE POLOŽAJA MJERNOG PIKSELA

Dok jedna grupa učenika obavlja GPS mjerenja, drugi mogu izraditi skicu položaja mjernog mjesta. Svrha ovakvih skica je da označimo drugima (sljedećim nastavnicima i učenicima) kako pronaći naša mjerna mjesta – postaje (sjetimo se da okoliš može biti posve različit u različitim godišnjim dobima). Dobro je nacrtati dvije karte (zemljovida), prva je približan prikaz kako doći do mjernog mjesta od škole ili iz grada. Druga je detaljni crtež same postaje, položaj na kojem su izmjerene GPS koordinate, drveće, cesta ili staze, objekti u blizini itd.

GPS INFORMACIJE I POMOĆ

Na Internetu uz pomoć WWW-a:

GLOBE program Homepage.....<http://www.globe.gov>

UNAVCO (University NAVSTAR Consortium)...<http://www.unavco.ucar.edu>

University of Texas, pregled GPS-a....<http://wwwhost.cc.utexas.edu>